

P A T E N T

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:

Hauser et al.

Application No.:

Filed: Herewith

For: **MEASURING DEVICE AND MEASURING METHOD FOR ELECTRIC MOTORS**

**MAIL STOP PATENT APPLICATION**

Commissioner for Patents

P.O. Box 1450

Alexandria, VA 22313-1450

**CERTIFICATE OF MAILING**

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as Express Mail (No. EV 129898145 US) addressed to MAIL STOP PATENT APPLICATION, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on January 16, 2004.

By: Carol Prentice  
Carol Prentice

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT(S)**  
**PURSUANT TO 35 U.S.C. 119**

Dear Sir:

Enclosed herewith is the certified copy of Applicants' counterpart German application:

**German patent application no. 103 02 531.6**  
**filed January 20, 2003**

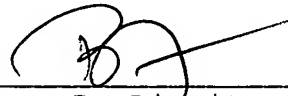
upon which Applicants' claim for priority is based.

Applicants respectfully request the Examiner to acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

Date: January 16, 2004

**ATTORNEY DOCKET NO.: HOE-794**

  
Barry R. Lipsitz  
Attorney for Applicant(s)  
Registration No. 28,637  
755 Main Street, Building 8  
Monroe, CT 06468  
(203) 459-0200



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 02 531.6

**Anmeldetag:** 20. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:** Minebea Co., Ltd.,  
Tokio/Tokyo/JP

**Bezeichnung:** Messeinrichtung und Messverfahren für  
Elektromotoren

**IPC:** G 01 M, H 01 K, G 01 R

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. November 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

**Stark**

A 57 201 x  
x-239  
20. Januar 2003

Anmelder:  
Minebea Co., Ltd.  
18F Arco Tower  
1-8-1 Shimo-Meguro  
Meguro-ku  
Tokyo 153 0064

## B E S C H R E I B U N G

### Messeinrichtung und Messverfahren für Elektromotoren

Die Erfindung betrifft eine Messeinrichtung und ein Messverfahren für Elektromotoren, insbesondere Spindelmotoren, umfassend eine Motoraufnahme, in welcher der zu prüfende Elektromotor für die Messung statorseitig positionierbar ist, eine mindestens einen ersten Schlagsensor aufweisende erste Schlagmesseinrichtung, mit welcher bei einem Rotor des in der Motoraufnahme gehaltenen Elektromotors ein Schlag in einer ersten Richtung erfassbar ist.

Bei den bekannten Messeinrichtungen und Messverfahren für Elektromotoren wird üblicherweise jeder einzelne Parameter in einer separaten Vorrichtung gemessen, so daß die Vermessung von Elektromotoren eine Vielzahl von Vorrichtungen erforderlich macht und äußerst zeitaufwendig ist.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Messeinrichtung und ein Messverfahren für Elektromotoren zur Verfügung zu stellen, welche eine möglichst effiziente Messung von einzelnen Parametern eines Elektromotors erlaubt.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Diese Aufgabe wird bei einer Messeinrichtung der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine mindestens einen zweiten Schlag-sensor aufweisende Schlagmesseinrichtung vorgesehen ist, mit welcher ein Schlag des Rotors in einer zweiten, quer zur ersten Richtung verlaufenden Richtung gleichzeitig mit dem Schlag in der ersten Richtung messbar ist.

Der Vorteil dieser Lösung ist darin zu sehen, daß mit dieser die Möglichkeit besteht, gleichzeitig den Schlag des Rotors in zwei quer zueinander verlaufenden Richtungen zu messen und somit die Schlagmessung effizienter durchzuführen.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung ist noch darin zu sehen, daß damit auch die Präzision der Schlagmessung verbessert wird, da der Elektromotor hierzu nur einmal in einer Motoraufnahme aufgenommen werden muss und somit die Positionierfehler der Motoraufnahme in gleicher Weise in die Präzision der Schlagmessungen in beiden Richtungen eingeht und somit keine zusätzlichen Positionierfehler durch ein erneutes Aufnehmen des Elektromotors für eine weitere Schlagmessung auftreten können.

Die Schlagsensoren können prinzipiell so arbeiten, daß sie den Rotor berühren.

Besonders zweckmäßig ist es jedoch, insbesondere um die Präzision der Schlagmessung zu verbessern und auch um bei hohen Drehzahlen arbeiten zu können, wenn der erste Schlagsensor und der zweite Schlagsensor berührungslose Sensoren sind.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Derartige berührungslose Sensoren könnten prinzipiell induktive Sensoren sein. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Schlagsensoren kapazitive Sensoren sind.

Insbesondere bei Verwendung von kapazitiven Sensoren besteht das Problem, daß diese auf dem elektrisch leitenden Rotor Ladungsansammlungen und Ladungsverschiebungen erzeugen, so daß die Gefahr besteht, daß die Messung mit einem der Schlagsensoren die Messung des anderen Schlagsensors beeinflusst.

Aus diesem Grund ist vorzugsweise vorgesehen, daß eine Trägerfrequenz des ersten Schlagsensors und eine Trägerfrequenz des zweiten Schlagsensors phasenversetzt arbeiten, so daß dadurch eine gegenseitige Beeinflussung der Schlagsensoren unterdrückt werden kann. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Trägerfrequenz des ersten Schlagsensors und die Trägerfrequenz des zweiten Schlagsensors ungefähr gegenphasig arbeiten, um eine weitgehende Unterdrückung der Wechselwirkung der Schlagsensoren zu erreichen.

Da die Schlagsensoren den jeweiligen Abstand zum Rotor möglichst präzise, insbesondere im Bereiche von Mikrometern, erfassen sollten, ist eine exakte Positionierung der Schlagsensoren relativ zum Rotor vor Durchführung der Schlagmessung erforderlich. Aus diesem Grund ist vorzugsweise vorgesehen, daß der erste Schlagsensor an einer ersten Sensorvorschubeinheit gehalten und mit dieser in der ersten Richtung auf den Rotor zustellbar ist.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Um eine präzise Positionierung des ersten Schlagsensors zu erreichen ist es besonders günstig, wenn zur Ansteuerung der ersten Sensorvorschubeinheit eine Steuerung vorgesehen ist, welche den ersten Schlagsensor als Abstandssensor beim Zustellen auf den Rotor einsetzt, so daß der Schlagsensor selbst dazu eingesetzt werden kann, diesen für die spätere Schlagmessung in einem optimalen Abstandsbereich zu positionieren.

Vorzugsweise erfolgt durch die Steuerung ein Zustellen des ersten Schlagsensors bei sich drehendem Rotor, um die optimale Position des Schlagsensors entsprechend dem auftretenden Schlag festlegen zu können.

Darüber hinaus sieht eine vorteilhafte Lösung vor, daß der zweite Schlagsensor an einer zweiten Sensorvorschubeinheit gehalten und mit dieser in der zweiten Richtung auf den Rotor zustellbar ist.

Vorzugsweise ist dabei vorgesehen, daß zur Ansteuerung der zweiten Sensorvorschubeinheit eine zweite Steuerung vorgesehen ist, welche dem zweiten Schlagsensor als Abstandssensor beim Zustellen auf den Rotor einsetzt, so daß auch bei der Positionierung des zweiten Schlagsensors dieser selbst dazu eingesetzt werden kann, einen optimalen Abstand zum Rotor zur Schlagmessung zu erreichen.

Insbesondere erfolgt durch die Steuerung eine Zustellung des zweiten Schlagsensors bei sich drehendem Rotor, um auch bei zweitem Schlagsensor dessen optimale Position entsprechend dem auftretenden Schlag festlegen zu können.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Um möglichst präzise Schlagmessungen durchführen zu können, ist vorgesehen, daß die jeweilige Schlagmesseinrichtung bei jeder einzelnen Umdrehung aus einer Vielzahl von Umdrehungen des Rotors jeweils in denselben Drehstellungen des Rotors einen jeder einzelnen Drehstellung zugeordneten Messwert für den Schlag in dieser Drehstellung bestimmt.

Insbesondere entspricht der Messwert für den Schlag in der jeweiligen Drehstellung einem Abstand zwischen dem Rotor und dem jeweiligen Schlagsensor, welcher sich beispielsweise aus einem Abstand der zur Messung herangezogenen Fläche des Rotors und der Sensorfläche des Schlagsensors ergibt.

Um sicherzustellen, daß bei jeder einzelnen Umdrehung von einer Vielzahl von Umdrehungen jeweils eine Schlagmessung in stets denselben Drehstellungen des Rotors erfolgt, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Ermittlung der einzelnen Drehstellung durch Synchronisation eines Triggersignals zur Schlagmessung durch die jeweilige Schlagmesseinrichtung mit der Drehbewegung des Rotors erfolgt.

Eine derartige Synchronisation mit der Drehbewegung des Rotors könnte beispielsweise dadurch erfolgen, daß eine Markierung des Rotors zur Synchronisation detektiert wird.

Dies hätte jedoch zur Folge, daß zur Schlagmessung bei dem jeweiligen Elektromotor in der Messeinrichtung der Rotor mit einer Markierung versehen werden müßte.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Aus diesem Grund ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Synchronisation der Schlagmessung durch die jeweilige Schlagmesseinrichtung mit der Drehbewegung des Rotors markierungsfrei erfolgt.

Eine derartige markierungsfreie Synchronisation der Schlagmessung mit der Drehbewegung erfolgt bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Lösung durch Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Spannung an einem elektrischen Anschluß des Elektromotors mit einer Spannungserfassungsschaltung.

Die Spannungserfassungsschaltung könnte beispielsweise Amplitudenmaxima der Spannung detektieren. Besonders günstig ist es, wenn die Spannungserfassungsschaltung Nulldurchgänge der Spannung an dem einen elektrischen Anschluß des Elektromotors erfaßt.


Da die Zahl der Nulldurchgänge der Spannung auch davon abhängt, wie groß die Polzahl des Elektromotors ist, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Spannungserfassungsschaltung nach Erfassen eines Nulldurchgangs den der Polzahl des Elektromotors entsprechenden und den Beginn der nächstfolgenden Umdrehung anzeigenden Nulldurchgang erfaßt, so daß die Möglichkeit besteht, eindeutig den Beginn der nächsten Umdrehung des Rotors zu erkennen und entsprechend die Schlagmessung zu synchronisieren.

Um nun die einzelnen Drehstellungen des Rotors synchron zu der jeweiligen Umdrehung festlegen zu können, ist vorzugsweise vorgesehen, daß aus der Erfassung der jeweils eine neue Umdrehung anzeigenden Nulldurchgänge




A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

phasenstarr ein entsprechendes Triggersignal abgeleitet wird, durch welches eine Unterteilung jeder Umdrehung des Rotors in eine definierte Anzahl von Drehstellungen erfolgt, bei welchen ein Messwert des jeweiligen Schlagsensors zu erfassen ist.



Für eine Auswertung der Schlagmessung, insbesondere im Hinblick auf eine Differenzierung zwischen einem wiederholbaren Schlag und einem nicht wiederholbaren Schlag ist es besonders günstig, wenn eine Messwerterfassung vorgesehen ist, die die von dem jeweiligen Schlagsensor gemessenen Messwerte für jede einzelne Drehstellung erfasst.

Die Bestimmung des wiederholbaren Schlags könnte beispielsweise dadurch erfolgen, daß die jeder einzelnen Drehstellung zugeordneten Messwerte statistisch ausgewertet werden.



Eine hinsichtlich der Durchführbarkeit besonders günstige Methode sieht vor, daß die Messwerterfassung aus den jeder einzelnen Drehstellung zugeordneten Messwerten des jeweiligen Schlagsensors einen Mittelwert bildet.

Bei der Bildung eines derartigen Mittelwerts läßt sich der wiederholbare Schlag im einfachsten Fall dadurch ermitteln, daß die Messwerterfassung die maximale Differenz zwischen den Mittelwerten aller Drehstellungen einer Umdrehung des Rotors bestimmt.

Bei Errechnung der Mittelwerte der Messwerte ist ebenfalls zweckmäßig, den nicht wiederholbaren Schlag dadurch zu bestimmen, daß die Abweichungen

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

der einzelnen Messwerte von dem Mittelwert errechnet werden. Aus diesem Grund ist zweckmäßigerweise vorgesehen, daß die Messwerterfassung bei jeder Drehstellung die maximale Abweichung der Messwerte von dem Mittelwert bestimmt.

Der nicht wiederholbare Schlag läßt sich dann günstig dadurch ermitteln, daß die Messwerterfassung die maximale Differenz zwischen den zu allen Drehstellungen einer Umdrehung des Rotors ermittelten maximalen Abweichungen bestimmt.

Eine weitere vorteilhafte Vorgehensweise sieht vor, daß mit der Schlagmess-einrichtung die zeitabhängig ermittelten Messwerte für den Schlag fourier-transformiert werden und daß ein daraus resultierendes Frequenzspektrum ausgewertet wird.

Das Auswerten eines aus der Schlagmessung durch Fouriertransformation ermittelten Frequenzspektrums eröffnet die Möglichkeit, zusätzliche Erkenntnisse über möglicherweise vorhandene Schäden, insbesondere in der Lagerung des Rotors, zu erhalten.

Besonders günstig ist es dabei, wenn eine Analyse des Frequenzspektrums entsprechend aller drehzahlharmonischer Frequenzen erfolgt. Diese Frequenzen können zusätzliche Störfrequenzen sein, die durch die Analyse erkannt werden können, oder auch Amplituden höherer Harmonischer. In jedem Fall ist es mit einer derartigen Analyse möglich, Lagerprobleme im weitesten Sinne,

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

wie beispielsweise Lagerschäden oder mechanische Spannungszustände der Lager, zu erkennen und gegebenenfalls im Hinblick auf ihre Relevanz für den Elektromotor quantitativ durch Ermittlung der Amplitude bei der jeweiligen Frequenz für ihre Relevanz hinsichtlich der Laufeigenschaften und Standzeit des Elektromotors zu bewerten.

Alternativ oder ergänzend zu den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Lösung sieht eine weitere vorteilhafte Ausführungsform vor, daß die Messeinrichtung eine Spannungsinduktionsmeseinrichtung aufweist, welche eine in den nicht bestromten Wicklungen des Elektromotors bei frei laufendem Rotor induzierte Spannung mißt.

Der Vorteil dieser erfindungsgemäßen Lösung ist darin zu sehen, daß kein externer Antrieb des Rotors erforderlich ist, um die in den Wicklungen induzierte Spannung zu messen. Vielmehr ist es mit der erfindungsgemäßen Messeinrichtung möglich, bei frei laufendem Rotor die induzierte Spannung zu messen, wobei bei frei laufendem Rotor davon auszugehen ist, daß der Rotor seine Drehzahl aufgrund des fehlenden Antriebs stetig verringert.

Prinzipiell wäre es denkbar, den Rotor durch einen externen Motor anzutreiben und dann die induzierte Spannung in den Wicklungen bei dem frei auslaufendem Rotor zu messen.

Da der Motor bei der erfindungsgemäßen Messeinrichtung jedoch ohnehin mit seinen Wicklungsanschlüssen angeschlossen sein muß, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Spannungsinduktionsmeseinrichtung über eine Umschalt-einheit mit den Wicklungen verbunden ist und daß die Umschalt-einheit derart

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

schaltbar ist, daß die induzierte Spannung unmittelbar nach einem Abschalten einer Bestromung des Elektromotors messbar ist.

Damit entfällt ein zusätzlicher Antrieb für die Messung der induzierten Spannung und im übrigen ist die Messung der induzierten Spannung, beispielsweise unmittelbar im Anschluß an die Schlagmessung, möglich, so daß die Messung der induzierten Spannung äußerst zeitökonomisch, nämlich in der ohnehin erforderlichen Auslaufphase des Elektromotors nach der Schlagmessung, durchgeführt werden kann.

Um auch in der Auslaufphase des Rotors die induzierte Spannung bei einer bestimmten Nenndrehzahl ermitteln zu können, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Messeinrichtung im Anschluß an ein Betreiben des Elektromotors bei der Nenndrehzahl bei frei auslaufendem Rotor mittels eines Rechners die durch Verringerung der Drehzahl des Rotors beeinflussten Amplitudenmaxima und Nulldurchgänge der induzierten Spannung ermittelt und an diese Werte einen theoretischen Verlauf der induzierten Spannung anpaßt und mit diesem angepassten theoretischen Verlauf die Amplitudenwerte der induzierten Spannung und Nulldurchgänge der induzierten Spannung für ein ungebremstes Drehen des Rotors bei der Nenndrehzahl ermittelt.

Aufgrund dieser Rechenoperation ist es somit möglich, die in den Wicklungen induzierte Spannung bei einer bestimmten Nenndrehzahl zu ermitteln, ohne den Rotor während der Ermittlung bei der Nenndrehzahl antreiben zu müssen.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Besonders günstig läßt sich dies dann durchführen, wenn der Rechner den zeitlichen Verlauf der Amplitude der induzierten Spannung mittels einer an Amplitudenmaxima der induzierten Spannung angepassten Hüllkurve erfasst.

Um weitere Parameter des Elektromotors mittels der erfindungsgemäßen Messeinrichtung bestimmen zu können, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Messeinrichtung eine Induktivitätsmesseinrichtung und einen externen Schrittmotor zum Antreiben des Rotors aufweist, daß mit dem Schrittmotor der Rotor in einzelne Drehstellungen drehbar ist und daß die Induktivitätsmesseinrichtung mit den Wicklungsanschlüssen des Elektromotors verbindbar ist, so daß zu jeder Drehstellung ein Messwert der Induktivität von Wicklungen des Elektromotors erfassbar ist.

Ferner ist zur Bestimmung weiterer Parameter vorgesehen, daß die Messeinrichtung einen Streuflusssensor umfassende Streufluss-Messeinrichtung aufweist und daß der Streuflusssensor in einer Messposition bei auslaufendem Rotor ohne Bestromung desselben einen Minimalwert und einen Maximalwert des magnetischen Streuflusses an einer bestimmten Stelle des Rotors misst.

Schließlich sieht eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messeinrichtung vor, daß diese eine Wicklungswiderstandsmesseinrichtung umfaßt, welche den Widerstand der Wicklungen des stehenden Elektromotors misst.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Messverfahren für Elektromotoren, insbesondere Spindelmotoren, bei welchem der zu prüfende Elektromotor für die Messung statorseitig in einer Motoraufnahme positioniert wird und mit einer einen ersten Schlagsensor aufweisenden ersten Schlagmesseinrichtung ein Schlag eines Rotors des Elektromotors in einer ersten Richtung erfasst wird und außerdem erfindungsgemäß mit einer einen zweiten Schlagsensor aufweisenden zweiten Schlagmesseinrichtung ein Schlag des Rotors in einer zweiten, quer zur ersten Richtung verlaufenden Richtung gleichzeitig mit dem Schlag in der ersten Richtung erfasst wird.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Messverfahrens ist darin zu sehen, daß damit die Möglichkeit besteht, Schlagmessungen in zwei quer zueinander verlaufenden Richtungen möglichst zeiteffizient und mit hoher Präzision durchzuführen, da die Durchführung der Messung in einer einzigen Motoraufspannung durchführbar ist.

Weitere vorteilhafte Aspekte des erfindungsgemäßen Messverfahrens und weitere Ausführungsformen erfindungsgemäßer Messverfahren sind Gegenstand der weiteren Verfahrensansprüche.

Außerdem sind weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung eines Ausführungsbeispiels.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 einen Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines mit einer erfindungsgemäßen Messeinrichtung und einem erfindungsgemäßen Messverfahren zu vermessenden Elektromotors, in diesem Fall eines Spindelmotors;
- Fig. 2 eine Seitenansicht eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung einer erfindungsgemäßen Messeinrichtung;
- Fig. 3 eine Darstellung der Vorrichtung gemäß Fig. 2 in Verbindung mit einem schematischen Blockdiagramm der zugeordneten Messauswertung der erfindungsgemäßen Messeinrichtung;
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Stators des zu vermessenden Elektromotors mit Wicklungen und einem detaillierten Anschlußschema;
- Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Ermittlung eines der Drehzahl des Elektromotors synchronen Ausgangssignals;
- Fig. 6 eine schematische Darstellung zur Erfassung von Messwerten am Beispiel von Messwerten für den radialen Schlag;

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

- Fig. 7 eine schematische Darstellung zur Ermittlung von Mittelwerten zur Bestimmung eines wiederholbaren radialen Schlags und eine zusätzliche Darstellung von Messwerten des radialen Schlags, die ein Maß für einen nicht wiederholbaren radialen Schlag ergeben;
- Fig. 8 eine schematische Darstellung eines Frequenzspektrums, gewonnen aus einer Fouriertransformation von Messwerten der Schlagmessung;
- Fig. 9 eine schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs einer in Wicklungen eines Elektromotors mit frei auslaufendem Rotor induzierten Spannung über der Zeit und
- Fig. 10 eine schematische Darstellung eines rechnerisch ermittelten Verlaufs einer in Wicklungen des Elektromotors bei einer Nenndrehzahl induzierten Spannung.

Ein zur Vermessung mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren beispielhaft vorgesehener Elektromotor 10 ist ein in Fig. 1 dargestellter sogenannter Spindelmotor, welcher eine Basisplatte 11 aufweist, welche eine fest mit dieser verbundene Welle 12 trägt, an welcher mit zwei im Abstand voneinander angeordneten Lagern 14 und 16 ein Rotor 18 um eine Drehachse 20 drehbar gelagert ist.



A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Der Rotor 18 ist glockenähnlich ausgebildet und übergreift einen Stator 22, welcher an der Basisplatte 11 ebenfalls fixiert gehalten ist und Polschuhe 24 sowie diese umgebende Wicklungen 26 aufweist, welche über durch die Basisplatte 11 geführte Kontaktstifte 28 bestrombar sind.

Ferner trägt der Rotor 18 den Polschuhen 24 zugewandte und an einer Innenseite desselben angeordnete Permanentmagnete 30.

Der Rotor 18 eines derartigen Spindelmotors 10 dient üblicherweise dazu, Festplatten, Magnetplatten oder ähnliche optisch oder magnetisch beschreibbare Elemente aufzunehmen und rotierend anzutreiben und weist hierzu eine kreiszylindrisch zur Drehachse 20 verlaufende äußere Mantelfläche 32 sowie eine sich an die Mantelfläche 32 anschließende Flanschfläche 34 auf, welche in einem definierten Winkel, vorzugsweise senkrecht zur Mantelfläche 32 verläuft, beispielsweise parallel zu einer Ebene 36, die sich senkrecht zur Drehachse 20 erstreckt. Ferner weist der Rotor 18 auf einer der Flanschfläche 34 gegenüberliegenden Seite eine Oberseite 38 auf.

Ungenauigkeiten bei der Fertigung der Welle 12, der Lager 14 und 16 und des Rotors 18 führen nun insgesamt bei dem um die Drehachse 20 rotierenden Rotor 18 zu einem sogenannten radialen Schlag RS des Rotors 18, welcher sich dadurch äußert, daß bei Beobachtung einer relativ zur Basisplatte 11 festgelegten erste Stelle S1 des Rotors 18 die rotierende Mantelfläche 32 - wie durch die Pfeile in Fig. 1 übertrieben dargestellt - radial zur Drehachse 20 sich zu bewegen scheint.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Darüber hinaus weist der Rotor 18 ebenfalls durch Ungenauigkeiten bei der Fertigung einen sogenannten axialen Schlag AS auf, welcher sich dadurch äußert, daß bei Beobachtung an einer relativ zur Basisplatte 11 festliegenden zweiten Stelle S2 sich die mit dem Rotor 18 umlaufende Flanschfläche 34 in Richtung parallel zur Drehachse 20 zu bewegen scheint.

Der radiale Schlag RS und der axiale Schlag AS des Rotors 18 definieren nun ein Maß für die Präzision, mit welcher der Rotor 18 um die Drehachse 20 drehbar gelagert und geführt ist.

Zur Bestimmung des radialen Schlags RS und des axialen Schlags AS ist eine als Ganzes mit 40 bezeichnete und in Fig. 2 dargestellte Messeinrichtung vorgesehen, welche eine Motoraufnahme 42 aufweist, mit welcher die Basisplatte 11 des Spindelmotors 10 fixierbar ist.

Vorzugsweise ist dabei die Motoraufnahme 42 als die Basisplatte 11 definiert aufnehmende und fixierende, insbesondere gesteuert fixierende Motoraufnahme 42 ausgebildet.

Ferner ist die Motoraufnahme 42 vorzugsweise auf einem Schlitten 44 angeordnet, welcher mittels einer Schlittenführung 46 in einer Richtung 48, welche in Fig. 2 senkrecht zur Zeichnungsebene verläuft, bewegbar ist, wobei der Schlitten 44 von einer Montagestellung, in welcher die Basisplatte 11 in die Motoraufnahme 42 einsetzbar ist, in eine Messstellung bewegbar ist, welche in Fig. 2 dargestellt ist.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

In dieser Messstellung steht der Schlitten 44 in einer definierten Position relativ zu einem Gestell 50 der Messeinrichtung 40 und somit steht auch aufgrund der präzisen Positionierung der Basisplatte 11 des Elektromotors 10 relativ zur Motoraufnahme 42 und somit zum Schlitten 44 der zu vermessende Elektromotor 10 mit seinem Rotor 18 in einer definierten Position, so daß auch die Drehachse 20 relativ zum Gestell 50 definiert ausgerichtet und festgelegt ist.

Zum Bewegen und Positionieren des Schlittens 44 relativ zum Gestell 50 ist vorzugsweise ein an dem Gestell 50 gehaltener Vorschubantrieb 52 vorgesehen, welcher mit dem Schlitten 44 gekoppelt ist und mit welchem der Schlitten 44 in die Richtung 48 gesteuert verfahrbar und positionierbar ist.

An dem Gestell 50 ist weiter eine als Ganzes mit 60 bezeichnete erste Sensorvorschubeinheit vorgesehen, welche einen ersten Sensorschlitten 62 aufweist, der an einer ersten Schlittenführung 64 relativ zum Gestell 50 in einer ersten Richtung 66 bewegbar geführt ist und mittels eines ersten Vorschubantriebs 68 in Richtung der ersten Richtung 66 gesteuert bewegbar und positionierbar ist.

Vorzugsweise verläuft dabei die erste Richtung 66 in einer ersten Ebene 67, welche sich quer zu der Drehachse 20 des in der Messstellung stehenden Elektromotors 10 erstreckt. Beispielsweise ist vorgesehen, daß die erste Richtung 66 die Drehachse 20 schneidet, vorzugsweise unter einem rechten Winkel.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

An dem ersten Sensorschlitten 62 ist ein erster Schlagsensor 70 angeordnet, und zwar so, daß eine erste Sensorfläche 72 desselben der Mantelfläche 32 des in der Messstellung stehenden Elektromotors 10 zugewandt ist.

Mit der ersten Sensorvorschubeinheit 66 besteht somit die Möglichkeit, den ersten Schlagsensor 70 mit seiner ersten Sensorfläche 72 von einer beim Einfahren des Elektromotors 10 in die Messstellung zurückgezogenen Stellung in der ersten Richtung 66 soweit auf den Rotor 18 zu zubewegen, daß die erste Sensorfläche 72 des ersten Schlagsensors 70 in einer in Fig. 2 dargestellten Detektionsstellung nahe der Mantelfläche 32 steht.

Ferner ist am Gestell 50 eine zweite Sensorvorschubeinheit 80 vorgesehen, welche einen zweiten Sensorschlitten 82 aufweist, der mittels einer zweiten Schlittenführung 84 in einer zweiten Richtung 86 relativ zum Gestell 50 bewegbar ist, wobei hierzu ein zweiter Vorschubantrieb 88 vorgesehen ist, um den zweiten Sensorschlitten 82 in der zweiten Richtung 86 positionsgesteuert bewegen und positionieren zu können.

Die zweite Richtung 86 verläuft dabei in einer zweiten Ebene 87, welche sich quer zu der Ebene 36 erstreckt, in welcher die Flanschfläche 34 liegt.

Vorzugsweise verläuft die Ebene 87 parallel zur Drehachse 20 des in der Messstellung stehenden Elektromotors und somit insbesondere senkrecht zur Ebene 36.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

An dem zweiten Sensorschlitten 82 ist ein zweiter Schlagsensor 90 gehalten, welcher durch den zweiten Sensorschlitten 82 in Richtung der Flanschfläche 34 des in der Messstellung stehenden Elektromotors 10 bis in eine in Fig. 2 dargestellte Detektionsstellung zustellbar ist, in welcher die Sensorfläche 92 in einem geeigneten Abstand von der Flanschfläche 34 steht.

Zur Durchführung der Schlagmessung des Rotors 18 ist ein als Ganzes mit 100 bezeichneter Zentralrechner vorgesehen, welcher einen Prozessor 102, einen Speicher 104 und eine Datenein-/ausgabeeinheit 106 aufweist. Mit dem Zentralrechner 100 ist über die Datenein-/ausgabeeinheit 106 einer Drehzahlsteuerung 108 für den Betrieb des Elektromotors 10 eine Drehzahl vorgegeben, welche eine Drei-Phasen-Treiberschaltung 110 ansteuert, die ihrerseits über einen ebenfalls von der Datenein-/ausgabeeinheit 106 ansteuerbare erste Umschalteinheit 112 den Elektromotor 10 betreibt.

Ist dabei der Elektromotor 10 ein Drehstrommotor so umfaßt der Stator, wie in Fig. 4 schematisch dargestellt, drei Wicklungen 114, 116, 118, die einerseits in einem Sternpunkt 120 miteinander verbunden sind und andererseits drei durch die Kontaktstifte 28 gebildete äußere Anschlüsse 122, 124, 126 aufweisen, welche ihrerseits über die erste Umschalteinheit 112 mit den entsprechenden Stromanschlüssen 132, 134 und 136 am Ausgang der Drei-Phasen-Treiberschaltung 110 verbunden sind.

Ferner ist die Drei-Phasen-Treiberschaltung 110 noch mit einem weiteren Ausgang 138 versehen, an welchem die Spannung von einem der drei Stromanschlüsse 132, 134 und 136 anliegt wenn die erste Umschalteinheit 112

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

durchgeschaltet ist, so daß eine Verbindung zwischen den Stromanschlüssen 132, 134, 136 und den äußeren Anschlüssen 122, 124 und 126 der Wicklungen 114, 116, 118 besteht.

Die an dem Ausgang 138 anliegende Spannung  $U$  von einem der Stromanschlüsse 132, 134 oder 136 ist in Fig. 5 für das Beispiel eines sechs-poligen Elektromotors 10 dargestellt, wobei sich die jeweils anliegende Spannung  $U$  zwischen  $+U_b$  und  $-U_b$  sich ändert. Bei dieser Spannung  $U$  werden jeweils die Nulldurchgänge  $NU$  derselben von einer Abtastschaltung 140 erfaßt und dieses, in Fig. 5 dargestellte Abtastsignal  $AT$  wird durch Teilen durch die halbe Polzahl in ein Ausgangssignal  $A$  der Abtastschaltung 140 umgesetzt, welches hinsichtlich seines zeitlichen Verlaufs exakt drehzahlsynchron zur Drehung des Rotors 18 ist und exakt eine Umdrehung  $UD$  des Rotors 18 um die Drehachse 20 repräsentiert.

Das heißt, daß das Ausgangssignal  $A$  phasenrichtig zur Drehung des Rotors 18 ist, wobei dieses Ausgangssignal  $A$  ohne zusätzliche Markierung des Rotors 18 einfach durch Verwenden des Elektromotors 10 als Sensor generiert wird.

Dieses Ausgangssignal  $A$  wird durch zwei phasenstarr arbeitende Schaltungen oder PLL-Schaltungen 142 und 144 multipliziert, beispielsweise in der PLL-Schaltung 142 um einen ersten Faktor und in der PLL-Schaltung 144 um einen zweiten Faktor, und ein von der PLL-Schaltung 144 erzeugtes Triggersignal  $T$  wird dazu verwendet, Messungen mit den Schlagsensoren 70, 90 zu einem jeweiligen Triggerzeitpunkt  $TZ$  zu triggern, wobei jeder Triggerzeitpunkt  $TZ$  einer Drehstellung des Rotors 18 entspricht.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Zur Schlagmessung mit dem ersten Schlagsensor 70 ist diesem, wie in Fig. 3 dargestellt, ein erster Sensorverstärker 150 zugeordnet, dessen Ausgangssignal durch einen ersten variablen Verstärker 152 weiter verstärkt wird, dann durch eine erste Schaltstufe 154 geschaltet und durch einen ersten Endverstärker 156 soweit verstärkt wird, daß dieses durch die Datenein-/ausgabeeinheit 106 des Zentralrechners 100 erfassbar ist. Der erste Schlagsensor 70, der erste Sensorverstärker 150, der erste variable Verstärker 152, die erste Schaltstufe 154 und der erste Endverstärker 156 bilden insgesamt eine erste Schlagmesseinrichtung 158.

Des weiteren ist dem zweiten Schlagsensor 90 ein zweiter Sensorverstärker 160, ein zweiter variabler Verstärker 162, eine zweite Schaltstufe 164 und ein zweiter Endverstärker 166 zugeordnet, die mit dem zweiten Schlagsensor 90 zusammen eine zweite Schlagmesseinrichtung 168 bilden und die in gleicher Weise arbeiten wie die entsprechenden Komponenten 150 bis 156, welche dem ersten Schlagsensor 70 zugeordnet sind.

Das Triggersignal T wird dabei der ersten Schaltstufe 154 und der zweiten Schaltstufe 164 gleichzeitig zugeführt, so daß ein zum Triggerzeitpunkt TZ eines positiven Triggersignals T vorliegender Messwert M des jeweiligen Schlagsensors 70, 90 dann durch die Endverstärker 156 bzw. 166 verstärkt und der Datenein-/ausgabeeinheit 106 des Zentralrechners 100 zugeführt und von dieser gespeichert wird.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Da die Schlagsensoren 70, 90 Abstandssensoren sind und somit jeweils den Abstand der Mantelfläche 32 von der ersten Sensorfläche 72 bzw. den Abstand der Flanschfläche 34 von der zweiten Sensorfläche 92 ermitteln, wird zu jedem einzelnen Triggerzeitpunkt TZ und somit zu jeder zugehörigen Drehstellung des Rotors 18 als Messwert M ein entsprechender, vom Schlagsensor 70 bzw. 90 erfaßter Abstandswert ermittelt, wobei der radiale Schlag RS und der axiale Schlag AS sich aus der Variation der von den Schlagsensoren 70 bzw. 90 gemessenen Abstandswerte pro Umdrehung UD ergibt.

Die sich dabei beispielsweise für den radialen Schlag RS ergebenden Messwerte M1 bis MN zu jedem Triggerzeitpunkt TZ1 bis TZN während einer Umdrehung UD sind in Fig. 6 schematisch dargestellt. Die Summe der Messwerte M1 bis MN ergibt dabei beispielsweise einen sinusähnlichen Schlagverlauf SV für den radialen Schlag RS, wobei der Schlagverlauf SV aber auch völlig anders sein kann.

Da die Triggerzeitpunkte TZ1 bis TZN bei jeder Umdrehung UD einer Messung an derselben Stelle des Rotors 18, das heißt bei derselben Drehstellung des Rotors 18, entsprechen, können die Messwerte M1 bis MN vieler aufeinanderfolgender Umdrehungen UD, bezogen auf die einzelnen Darstellungen aufsummiert und gemittelt werden, so daß sich für jede einzelne Drehstellung ein Mittelwert MM1 ... MMN aus der Vielzahl der für diese Drehstellung bei der Vielzahl von Umdrehungen UD gemessenen Messwerte M1 ... MN bestimmen läßt, und diese Mittelwerte MM1 ... MMN ergeben einen in Fig. 7 dargestellten gemittelten Verlauf SVM, welcher ein Maß für den wiederholbaren radialen



A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Schlag RRS darstellt, das heißt ein Maß für alle Abweichungen, die bei jeder Umdrehung sich wiederholend bei exakt demselben Drehwinkel auftreten. Beispielsweise wäre eine Ursache für einen derartigen wiederholbaren radialen Schlag RRS, dargestellt durch den Verlauf SVM eine Formabweichung der Mantelfläche 32 von der exakten kreiszylindrischen Form zur Drehachse 20.

Der maximal wiederholbare Schlag stellt dabei die maximale Differenz der für eine Umdrehung bestimmten Mittelwerte MM dar und läßt sich durch den Zentralrechner 100 dadurch ermitteln, daß die maximale Differenz der während einer Umdrehung UD auftretenden Mittelwerte bestimmt wird.

Zusätzlich zu dem Verlauf SVM werden die Abweichungen aller erfaßten Messwerte M von dem Verlauf SVM erfaßt, die üblicherweise zu einer dem Verlauf SVM folgenden Bandbreite B führen, welche ein Maß für den nicht wiederholbaren radialen Schlag NRRS darstellt, welcher beispielsweise durch die Lager 14, 16 entstehen kann, wenn diese Kugellager sind und die Kugeln ihrerseits geometrische Abweichungen von der idealen Kugelform haben, wobei die geometrischen Abweichungen aufgrund der Drehung der Kugeln zu statistischen Veränderungen der Zentrierung des Rotors 18 relativ zur Drehachse 20 und somit zu einem nicht wiederholbaren radialen Schlag NRRS führen.

Darüber hinaus läßt sich der nicht wiederholbare Schlag NRRS von dem Zentralrechner 100 dadurch bestimmen, daß für jede einzelne Drehstellung die maximale Abweichung der zu dieser Drehstellung aufgrund der Vielzahl von

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Umdrehungen ermittelten Messwerte M von dem Mittelwert bestimmt wird und dann die maximale Differenz zwischen den zu allen Drehstellungen einer Umdrehung des Rotors ermittelten maximalen Abweichung bestimmt wird.

Aus denselben Gründen wird von dem zweiten Schlagsensor 90 ein wiederholbarer axialer Schlag RAS und ein nicht wiederholbar axialer Schlag NRAS nach derselben Vorgehensweise ermittelt.

Die Schlagsensoren 70, 90 sind vorzugsweise kapazitive Sensoren, die, wenn sie gleichzeitig arbeiten, zu Ladungsverschiebungen auf dem elektrisch leitenden Rotor 18 führen. Aus diesem Grund wird erfindungsgemäß zur gleichzeitigen und synchronen Messung des radialen Schlags RS und des axialen Schlags AS ein Betrieb der Schlagsensoren 70, 90 dergestalt vorgesehen, daß diese um  $180^\circ$  phasenversetzt sind, das heißt jeweils mit einer Trägerfrequenz betrieben werden, wobei die eine gegenüber der anderen um  $180^\circ$  phasenversetzt ist.

Ferner ist, um die Schlagsensoren 70, 90 präzise auf die Mantelfläche 32 bzw. die Flanschfläche 34 zur Schlagmessung mittels der Sensorvorschubeinheiten 60 bzw. 80 zustellen zu können, vorzugsweise vorgesehen, daß der entsprechende Vorschubantrieb 68 bzw. 88 vom Zentralrechner 100 über eine Ansteuerstufe 170 bzw. 172 ansteuerbar ist, wobei die Ansteuerstufen 170 bzw. 172 vom Zentralrechner 100 derart betrieben werden, daß bei Annäherung an die Mantelfläche 32 bzw. die Flanschfläche 34 der Schlagsensor 70 bzw. 90 als Abstandssensor eingesetzt wird und somit ein optimaler

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Messabstand zwischen dem ersten Schlagsensor 70 und der Mantelfläche 32 bzw. dem zweiten Schlagsensor 90 und der Flanschfläche 34 durch Messung des Abstandes mittels der später zur Schlagmessung einzusetzenden Schlag-sensoren 70 bzw. 90 einstellbar ist.

Darüber hinaus besteht mittels des Zentralrechners 100 die Möglichkeit, eine Fouriertransformation der bei den einzelnen Umdrehungen UD zu den einzelnen Triggerzeitpunkten TZ erfaßten Messwerte M durchzuführen und die Amplitude AF der einzelnen Frequenzkomponenten, insbesondere die Amplituden AF der Harmonischen HA1 und alle folgenden, dargestellt als Frequenzspektrum über der Frequenz f zu analysieren. Dabei kann davon ausgegangen werden, daß der jeweilige Schlag nur Frequenzanteile liefert, die der ersten Harmonischen HA1 der Drehzahl entsprechen und alle höheren Harmonischen HA2 und folgende stellen Störfrequenzen, beispielsweise erzeugt durch die Lager 14 und 16, dar. Durch Analyse der über der ersten Harmonischen HA1 liegenden Frequenzkomponenten, insbesondere höherer Harmonischen HA2 und folgende, dargestellt in Fig. 8, besteht somit die Möglichkeit, gegebenenfalls festzustellen, ob nennenswerte Schäden in den Lagern 14 und 16 vorliegen.

Darüber hinaus besteht noch die Möglichkeit, den radialen Schlag RS und den axialen Schlag AS bei unterschiedlichen Drehzahlen zu messen und festzustellen, inwieweit sich die Amplituden der einzelnen Harmonischen HA verändern.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Um den Elektromotor 10 noch ergänzend im Hinblick auf weitere Parameter ohne nennenswerten zusätzlichen Zeitaufwand vermessen zu können, insbesondere im nichtbestromten Zustand, ist zusätzlich zur ersten Umschalteinheit 112 eine zweite Umschalteinheit 174 vorgesehen, welche ebenfalls mit den Wicklungsanschlüssen 122, 124 und 126 des Stators 22 verbunden ist und vom Zentralrechner 100 stets so angesteuert wird, daß diese alternativ zur ersten Umschalteinheit 112 durchschaltet.

Das heißt, daß die zweite Umschalteinheit 174 stets dann durchgeschaltet ist, wenn die erste Umschalteinheit 112 nicht durchgeschaltet ist, und umgekehrt.

Über die zweite Umschalteinheit 174 ist eine dritte Umschalteinheit 176 mit den Wicklungsanschlüssen 122, 124 und 126 verbindbar, welche in der Lage ist, wahlweise entweder eine Spannungsinduktionsmesseinrichtung 180, eine Induktivitätsmesseinrichtung 182 sowie eine Wicklungswiderstandsmesseinrichtung 184 mit den Wicklungsanschlüssen 122, 124 und 126 über die zweite Umschalteinheit 174 zu verbinden, wobei die Spannungsinduktionsmesseinrichtung 180, die Induktivitätsmesseinrichtung 182 und die Wicklungswiderstandsmesseinrichtung 184 jeweils ihrerseits mit der Datenein-/ausgabeeinheit 106 des Zentralrechners 100 verbunden sind und somit in der Lage sind, die jeweiligen Messwerte dem Zentralrechner 100 zu übermitteln.

Hierzu wird beispielsweise mittels der Spannungsinduktionsmesseinrichtung 180 bei sich im Freilauf drehendem Rotor 18 die in den Wicklungen 114, 116 und 118 des Stators 22 induzierte Spannung  $U_i$  erfaßt, wobei in Fig. 9 der

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

zeitliche Verlauf der Spannung UI an einem der äußeren Anschlüsse 122, 124 oder 126 dargestellt ist. Die Spannung UI fällt dabei bei freilaufendem Rotor 18, das heißt unmittelbar nach Abschalten der Bestromung der Wicklungen 114, 116 und 118, hinsichtlich ihrer Amplitude AI sehr schnell ab und außerdem ändert sich die Frequenz sehr schnell, da die Drehzahl des Rotors 18, insbesondere bei einem Rotor 18 mit geringer Masse, aufgrund der Reibung in den Lagern 14, 16 sehr stark abnimmt. Aus dem in Fig. 9 schematisch skizzierten Verlauf der Spannung UI läßt sich aufgrund des schnellen Abfalls der Amplitude AI und des schnellen Abfalls der Drehzahl, welcher zu sich rapide vergrößernden Abständen von Nulldurchgängen N1, N2, ... der Spannung UI führt, die tatsächlich bei einer bestimmten Nenndrehzahl induzierte Spannung in den einzelnen Wicklungen 114, 116 und 118 nicht direkt ermitteln. Aus diesem Grund wird von der Spannungsinduktionsmesseinrichtung 180 hinsichtlich der aufeinanderfolgenden Amplitudenwerte AI1, AI2, AI3, AI4 etc. sowie der aufeinanderfolgenden Nulldurchgänge N1, N2, N3, N4 etc. exakt über einen möglichst langen Messzeitraum tM erfaßt und dann im Zentralrechner 100 eine Hüllkurve H an diese Werte angepaßt, aus welcher sich unter Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen der Drehzahl des Rotors 18, der Veränderung der Drehzahl des Rotors 18 aufgrund seiner Abbremsung und der dabei in den Wicklungen 114, 116 und 118 induzierten Spannung UI ermitteln läßt, wie der Verlauf der induzierten Spannung UI' ohne Abbremsung des Rotors wäre, wie in Fig. 10 dargestellt, so daß sich die Nulldurchgänge N1' etc. sowie die Werte AI1' etc. für die Spannung UI' ohne Abbremsung des Rotors 18 ergeben, aus denen dann die in den Wicklungen 114, 116 und 118 induzierte Spannung UI' für den Fall eines mit konstanter Drehzahl freilaufenden Rotors 18 ermittelbar ist.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Die Induktivitätsmesseinrichtung 182 misst dagegen die Induktivität bei stehendem Rotor 18, wobei hierzu der Rotor 18 über eine ganze Umdrehung in einzelne Winkelstellungen zu bringen ist, um die Induktivität der Wicklungen 114, 116 und 118 in einzelnen Winkelschritten messen zu können.

Aus diesem Grund ist ein Schrittmotor 190 mit einer koaxial zur Drehachse 20 des in der Messstellung stehenden Elektromotors 10 verlaufenden Antriebswelle 192 vorgesehen, die an ihrem dem Rotor 18 zugewandten Ende ein Kupplungselement 194, beispielsweise einen Glockenkörper aus weichelastischem Material aufweist, wobei die gesamte Einheit aus Schrittmotor 190, Antriebswelle 192 und Kupplungselement 194 zum Ankoppeln des Schrittmotors an den Rotor 18 des in der Messstellung stehenden Elektromotors 10 auf diesen zu bewegbar ist, so daß das Kupplungselement 194 mit der Oberseite 38 des Rotors 18 in Berührung bringbar ist, um diesen anzutreiben.

Der Schrittmotor 190 ist dabei, wie in Fig. 3 dargestellt, über eine Ansteuerstufe 196 vom Zentralrechner 100 in einzelnen Winkelinkrementen ansteuerbar, so daß der Zentralrechner 100 einerseits den Rotor 18 mittels des Schrittmotors 190 in einzelne Winkelstellungen drehen und andererseits über die Induktivitätsmesseinrichtung 182 die entsprechende Induktivität der Wicklungen 114, 116 und 118 bestimmen und den einzelnen Drehstellungen zugeordnet aufzeichnen kann.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Darüber hinaus besteht mit der Wicklungswiderstandsmesseinrichtung 184 noch zusätzlich die Möglichkeit, den elektrischen Widerstand der einzelnen Wicklungen 114, 116 und 118 bei stillstehendem Rotor 18 mittels des Zentralrechners 100 zu bestimmen, wobei dies nicht winkelabhängig erfolgen muß.

Zur Messung des Streuflusses des Elektromotors 10 ist an dem Gestell 50 noch ein Streuflusssensor 200 gehalten, welcher mit einer Streuflusserfassungseinrichtung 202 verbunden ist, um den Streufluß des Rotors 18 zu messen.

Hierzu wird der Rotor 18 um die Drehachse 20 rotierend angetrieben und dann wird im Leerlauf, das heißt bei rotierendem nicht bestromtem Stator 22, über den Streuflusssensor 200 mit der Streuflusserfassungseinrichtung 202, welche eine Streuflussmesseinrichtung 204 darstellen, der Streufluß des Rotors 18 an einer bestimmten Stelle hinsichtlich seines Minimalwerts und seines Maximalwerts ermittelt.

Diese von der Streuflussmesseinrichtung 204 ermittelten Minimal- und Maximalwerte werden ebenfalls der Datenein-/ausgabeeinheit 106 übermittelt und dann im Zentralrechner 100 zu dem jeweiligen Elektromotor 10 abgespeichert.

Ferner ist noch eine Strommesseinrichtung 206 vorgesehen, mit welcher der von der Drei-Phasen-Treiberschaltung 110 den Wicklungen 112, 114, 116 zugeführte Strom erfassbar und dem Zentralrechner 100 übermittelbar ist.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

## PATENTANSPRÜCHE

1. Messeinrichtung für Elektromotoren (10), insbesondere Spindelmotoren, umfassend  
eine Motoraufnahme (42), in welcher der zu prüfende Elektromotor (10) für die Messung statorseitig positionierbar ist,  
eine mindestens einen ersten Schlagsensor (70) aufweisende erste Schlagmesseinrichtung (158), mit welcher bei einem Rotor (18) des in der Motoraufnahme (42) gehaltenen Elektromotors (10) ein Schlag (RS) in einer ersten Richtung (66) erfassbar ist,  
dadurch gekennzeichnet, daß eine mindestens einen zweiten Schlagsensor (90) aufweisende zweite Schlagmesseinrichtung (168) vorgesehen ist, mit welcher ein Schlag (AS) des Rotors (18) in einer zweiten, quer zur ersten Richtung (66) verlaufenden Richtung (86) gleichzeitig mit dem Schlag (RS) in der ersten Richtung (66) messbar ist.
2. Messeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Schlagsensor (70) und der zweite Schlagsensor (90) berührungslose Sensoren sind.
3. Messeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Schlagsensor (70) und der zweite Schlagsensor (90) kapazitive Sensoren sind.



A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

4. Messeinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Trägerfrequenz des ersten Schlagsensors (70) und eine Trägerfrequenz des zweiten Schlagsensors (90) phasenversetzt arbeiten.
5. Messeinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägerfrequenz des ersten Schlagsensors (70) und die Trägerfrequenz des zweiten Schlagsensors (90) ungefähr gegenphasig arbeiten.
6. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Schlagsensor (70) an einer ersten Sensorvorschubeinheit (60) gehalten und mit dieser in der ersten Richtung (66) auf den Rotor (18) zustellbar ist.
7. Messeinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ansteuerung der ersten Sensorvorschubeinheit (60) eine Steuerung (158, 100) vorgesehen ist, welche den ersten Schlagsensor (70) als Abstandssensor beim Zustellen desselben auf den Rotor (18) einsetzt.
8. Messeinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung (158, 100) den ersten Schlagsensor (70) bei drehendem Rotor (18) zustellt.
9. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Schlagsensor (90) an einer zweiten Sensorvorschubeinheit (80) gehalten und mit dieser in der zweiten Richtung (86) auf den Rotor (18) zustellbar ist.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

10. Messeinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ansteuerung der zweiten Sensorvorschubeinheit (80) eine zweite Steuerung (100, 168) vorgesehen ist, welche den zweiten Schlagsensor (90) als Abstandssensor beim Zustellen desselben auf den Rotor (18) einsetzt.
11. Messeinrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung den zweiten Schlagsensor (90) bei drehendem Rotor (18) zustellt.
12. Messeinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige Schlagmesseinrichtung (158, 168) bei jeder einzelnen Umdrehung (UD) aus einer Vielzahl von Umdrehungen (UD) des Rotors (18) jeweils in denselben Drehstellungen des Rotors (18) einen jeder einzelnen Drehstellung zugeordneten Messwert (M) für den Schlag (RS, AS) bestimmt.
13. Messeinrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der einzelnen Drehstellungen durch Synchronisation eines Triggersignals (T) zur Schlagmessung durch die jeweilige Schlagmesseinrichtung (158, 168) mit der Drehbewegung des Rotors (18) erfolgt.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

14. Messeinrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Synchronisation der Schlagmessung durch die jeweilige Schlagmesseinrichtung (158, 168) mit der Drehbewegung des Rotors (18) markierungsfrei erfolgt.
15. Messeinrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Synchronisation der Schlagmessung mit der Drehbewegung des Rotors (18) durch Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Spannung (U) an einem elektrischen Anschluß (122, 124, 126) des Elektromotors (10) mittels einer Spannungserfassungsschaltung (140) erfolgt.
16. Messeinrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungserfassungsschaltung (140) Nulldurchgänge (NU) der Spannung (U) an dem einen elektrischen Anschluß (122, 124, 126) des Elektromotors (10) erfaßt.
17. Messeinrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungserfassungsschaltung (140) nach Erfassen eines Nulldurchgangs (NU1) den der Polzahl des Elektromotors (10) entsprechenden und den Beginn der nächstfolgenden Umdrehung anzeigenden Nulldurchgang (NU7) erfaßt.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

18. Messeinrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Erfassung der jeweils eine neue Umdrehung anzeigenden Nulldurchgänge (NU1, NU7) phasenstarr ein entsprechendes Triggersignal (T) abgeleitet wird, durch welches eine Unterteilung jeder Umdrehung (UD) des Rotors (18) in eine definierte Anzahl von Drehstellungen erfolgt, bei welchen ein Messwert (M) des jeweiligen Schlagsensors (70, 90) zu erfassen ist.
19. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß eine Messwerterfassung (100) vorgesehen ist, die von dem jeweiligen Schlagsensor (70, 90) gemessenen Messwerte (M) für jede einzelne Drehstellung erfaßt.
20. Messeinrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Messwerterfassung (100) aus den jeder einzelnen Drehstellung zugeordneten Messwerten (M) des jeweiligen Schlagsensors (70, 90) einen Mittelwert bildet.
21. Messeinrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Messwerterfassung (100) die maximale Differenz zwischen den Mittelwerten (MM) aller Drehstellungen einer Umdrehung des Rotors (18) bestimmt.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

22. Messeinrichtung nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Messwerterfassung (100) bei jeder Drehstellung die maximale Abweichung der Messwerte (M) von dem Mittelwert (MM) bestimmt.
23. Messeinrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Messwerterfassung (100) die maximale Differenz zwischen den zu allen Drehstellungen einer Umdrehung (UD) des Rotors (18) ermittelten maximalen Abweichungen bestimmt.
24. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitabhängig ermittelten Messwerte (M) für den Schlag (RS, AS) durch einen Rechner (100) fouriertransformiert werden und daß ein daraus resultierendes Frequenzspektrum ausgewertet wird.
25. Messeinrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß eine Analyse des Frequenzspektrums hinsichtlich aller drehzahlharmonischen Frequenzen erfolgt.
26. Messeinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Messeinrichtung eine Spannungsinduktionsmesseinrichtung (180) aufweist, welche eine in den nicht bestromten Wicklungen (114, 116, 118) des Elektromotors (10) bei freilaufendem Rotor (18) induzierte Spannung (UI) mißt.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

27. Messeinrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungsinduktionsmesseinrichtung (180) über eine Umschalteinheit (174) mit den Wicklungen (114; 116, 118) verbunden ist und daß die Umschalteinheit (174) derart schaltbar ist, daß die induzierte Spannung (UI) unmittelbar nach einem Abschalten einer Bestromung des Elektromotors (10) messbar ist.
28. Messeinrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Messeinrichtung mittels eines Rechners (100) die durch Verringerung der Drehzahl des Rotors (18) beeinflussten Amplitudenmaxima (AI) und Nulldurchgänge (N) der induzierten Spannung (UI) ermittelt und an diese Werte einen theoretischen Verlauf der induzierten Spannung anpasst und mit diesem angepassten theoretischen Verlauf die Amplitudenwerte (AI') der induzierten Spannung und Nulldurchgänge (N') für ein ungebremstes Drehen des Rotors (18) ermittelt.
29. Messeinrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechner (100) den zeitlichen Verlauf der Amplitude der induzierten Spannung (UI) mittels einer an Amplitudenmaxima (AI) der induzierten Spannung (UI) angepaßten Hüllkurve (H) erfaßt.
30. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Messeinrichtung eine Induktivitätsmesseinrichtung (182) und einen externen Schrittmotor (190) zum Antreiben des Rotors (18) aufweist, daß mit dem Schrittmotor (190) der Rotor (18) in

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

einzelne Drehstellungen drehbar ist und daß die Induktivitätsmesseinrichtung (182) mit den Wicklungsanschlüssen (122, 124, 126) des Elektromotors (10) verbindbar ist, so daß zu jeder Drehstellung ein Messwert der Induktivität von Wicklungen (114, 116, 118) des Elektromotors (10) erfassbar ist.

31. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Messeinrichtung eine einen Streuflusssensor (200) umfassende Streufluss-Messeinrichtung (204) aufweist und daß der Streuflusssensor (200) in einer Messposition bei auslaufendem Rotor (18) ohne Bestromung desselben einen Minimalwert und einen Maximalwert des magnetischen Streuflusses an einer bestimmbaren Stelle des Rotors (18) mißt.
32. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Messeinrichtung eine Wicklungswiderstandsmesseinrichtung (184) umfaßt, welche den Widerstand der Wicklungen (114, 116, 118) des stehenden Elektromotors (10) mißt.
33. Messverfahren für Elektromotoren (10), insbesondere Spindelmotoren, bei welchem der zu prüfende Elektromotor (10) für die Messung statorseitig in einer Motoraufnahme (42) positioniert wird und mit einer einen ersten Schlagsensor (70) aufweisenden ersten Schlagmesseinrichtung (158), ein Schlag (RS) eines Rotors (18) des Elektromotors (10) in einer ersten Richtung (66) erfasst wird, dadurch gekennzeichnet, daß mit einer

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

einen zweiten Schlagsensor (90) aufweisenden zweiten Schlagmesseinrichtung (168) ein Schlag (AS) des Rotors (18) in einer zweiten, quer zur ersten Richtung (66) verlaufenden Richtung (86) gleichzeitig mit dem Schlag (RS) in der ersten Richtung (66) erfasst wird.

34. Messverfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Schlagsensor (70) und der zweite Schlagsensor (90) phasenversetzt arbeiten.
35. Messverfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Schlagsensor (70) und der zweite Schlagsensor (90) ungefähr gegenphasig arbeiten.
36. Messverfahren nach einem der Ansprüche 33 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Schlagsensor (70) als Abstandssensor beim Zustellen desselben auf den Rotor (18) eingesetzt wird.
37. Messverfahren nach einem der Ansprüche 33 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Schlagsensor (90) als Abstandssensor beim Zustellen desselben auf den Rotor (18) eingesetzt wird.
38. Messverfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 33 oder nach einem der Ansprüche 33 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß bei jeder einzelnen Umdrehung (UD) aus einer Vielzahl von Umdrehungen (UD) des



A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Rotors (18) jeweils in denselben Drehstellungen des Rotors (18) ein jeder einzelnen Drehstellung zugeordneter Messwert (M) für den Schlag (RS, AS) bestimmt wird.

39. Messverfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Drehstellungen durch Synchronisation eines Triggersignals (T) zur Schlagmessung mit der Drehbewegung des Rotors (18) ermittelt werden.
40. Messverfahren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Synchronisation der Schlagmessung mit der Drehbewegung des Rotors (18) markierungsfrei durchgeführt wird.
41. Messverfahren nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Synchronisation der Schlagmessung mit der Drehbewegung des Rotors (18) durch Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Spannung (U) an einem elektrischen Anschluß (122, 124, 126) des Elektromotors (10) durchgeführt wird.
42. Messverfahren nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß zur Synchronisation Nulldurchgänge (NU) der Spannung (U) an dem einen elektrischen Anschluß (122, 124, 126) des Elektromotors (10) erfaßt werden.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

43. Messverfahren nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, daß nach Erfassen eines Nulldurchgangs (NU1) der der Polzahl des Elektromotors (10) entsprechenden und den Beginn der nächstfolgenden Umdrehung anzeigende Nulldurchgang (NU7) ermittelt wird.
44. Messverfahren nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Erfassung der jeweils eine neue Umdrehung anzeigenden Nulldurchgänge (NU1, NU7) phasenstarr ein entsprechendes Triggersignal (T) abgeleitet wird, mit welchem eine Unterteilung jeder Umdrehung (UD) des Rotors (18) in eine definierte Anzahl von Drehstellungen durchgeführt wird, bei welchen ein Messwert (M) des jeweiligen Schlagsensors (70, 90) erfasst wird.
45. Messverfahren nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, daß aus den jeder einzelnen Drehstellung zugeordneten Messwerten (M) des jeweiligen Schlagsensors (70, 90) einen Mittelwert (MM) gebildet wird.
46. Messverfahren nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß die maximale Differenz zwischen den Mittelwerten (MM) aller Drehstellungen einer Umdrehung des Rotors (18) bestimmt wird.
47. Messverfahren nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, daß bei jeder Drehstellung die maximale Abweichung der Messwerte (M) von dem Mittelwert (MM) bestimmt wird.

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

48. Messverfahren nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß die maximale Differenz zwischen den zu allen Drehstellungen einer Umdrehung (UD) des Rotors (18) ermittelten maximalen Abweichungen bestimmt wird.
49. Messverfahren nach einem der Ansprüche 33 bis 48, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitabhängig ermittelten Messwerte (M) für den Schlag (RS, AS) durch einen Rechner (100) fouriertransformiert werden und daß ein daraus resultierendes Frequenzspektrum ausgewertet wird.
50. Messverfahren nach Anspruch 49, dadurch gekennzeichnet, daß eine Analyse des Frequenzspektrums hinsichtlich aller drehzahlharmonischen Frequenzen durchgeführt wird.
51. Messverfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 33 oder nach einem der Ansprüche 33 bis 51, dadurch gekennzeichnet, daß eine in den nicht bestromten Wicklungen (114, 116, 118) des Elektromotors (10) bei freilaufendem Rotor (18) induzierte Spannung (UI) gemessen wird.
52. Messverfahren nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, daß die durch Verringerung der Drehzahl des Rotors (18) beeinflussten Amplitudenmaxima (AI) und Nulldurchgänge (N) der induzierten Spannung (UI) ermittelt und an diese Werte ein theoretischer Verlauf der induzierten Spannung angepasst und mit diesem angepassten theoretischen

A 57 201 x  
20. Januar 2003  
x-239

Verlauf die Amplitudenwerte (AI') der induzierten Spannung und Nulldurchgänge (N') für ein ungebremstes Drehen des Rotors (18) ermittelt werden.

53. Messverfahren nach Anspruch 52, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitliche Verlauf der Amplitude der induzierten Spannung (UI) mittels einer an Amplitudenmaxima (AI) der induzierten Spannung (UI) angepaßten Hüllkurve (H) erfasst wird.
54. Messverfahren nach einem der Ansprüche 33 bis 53 , dadurch gekennzeichnet, daß zu jeder Drehstellung des Rotors (18) ein Messwert der Induktivität von Wicklungen (114, 116, 118) des Elektromotors (10) erfasst wird ist.
55. Messverfahren nach einem der Ansprüche 33 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Messposition bei auslaufendem Rotor (18) ohne Bestromung desselben ein Minimalwert und einen Maximalwert des magnetischen Streuflusses an einer bestimmbaren Stelle des Rotors (18) gemessen wird.
56. Messverfahren nach einem der Ansprüche 33 bis 55, dadurch gekennzeichnet, daß der Widerstand der Wicklungen (114, 116, 118) des stehenden Elektromotors (10) gemessen wird.
57. Messverfahren nach einem der Ansprüche 33 bis 56, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Wicklungen (114, 116, 118) bei laufendem Elektromotor (10) zugeführter Strom gemessen wird.

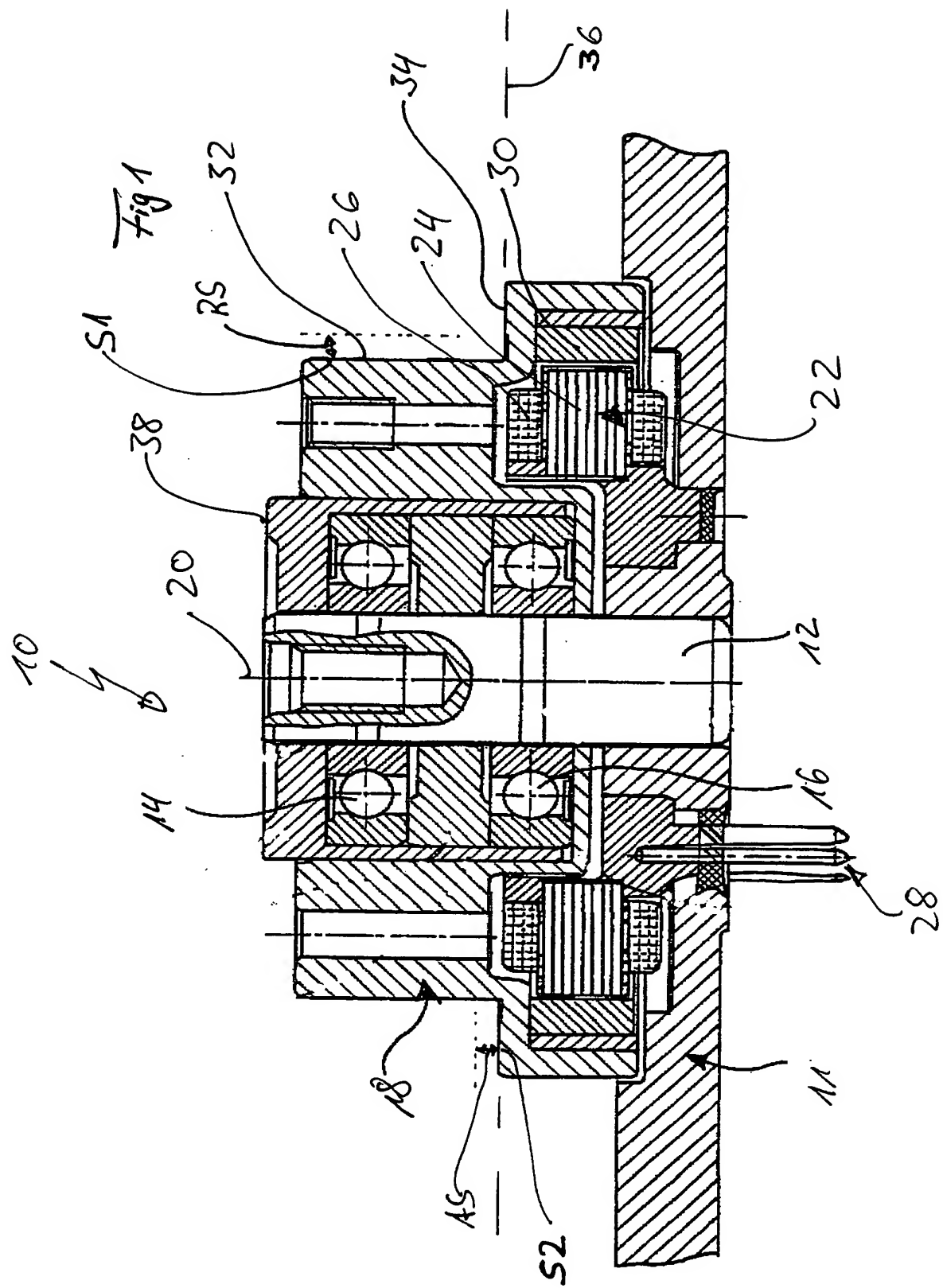


Fig 2

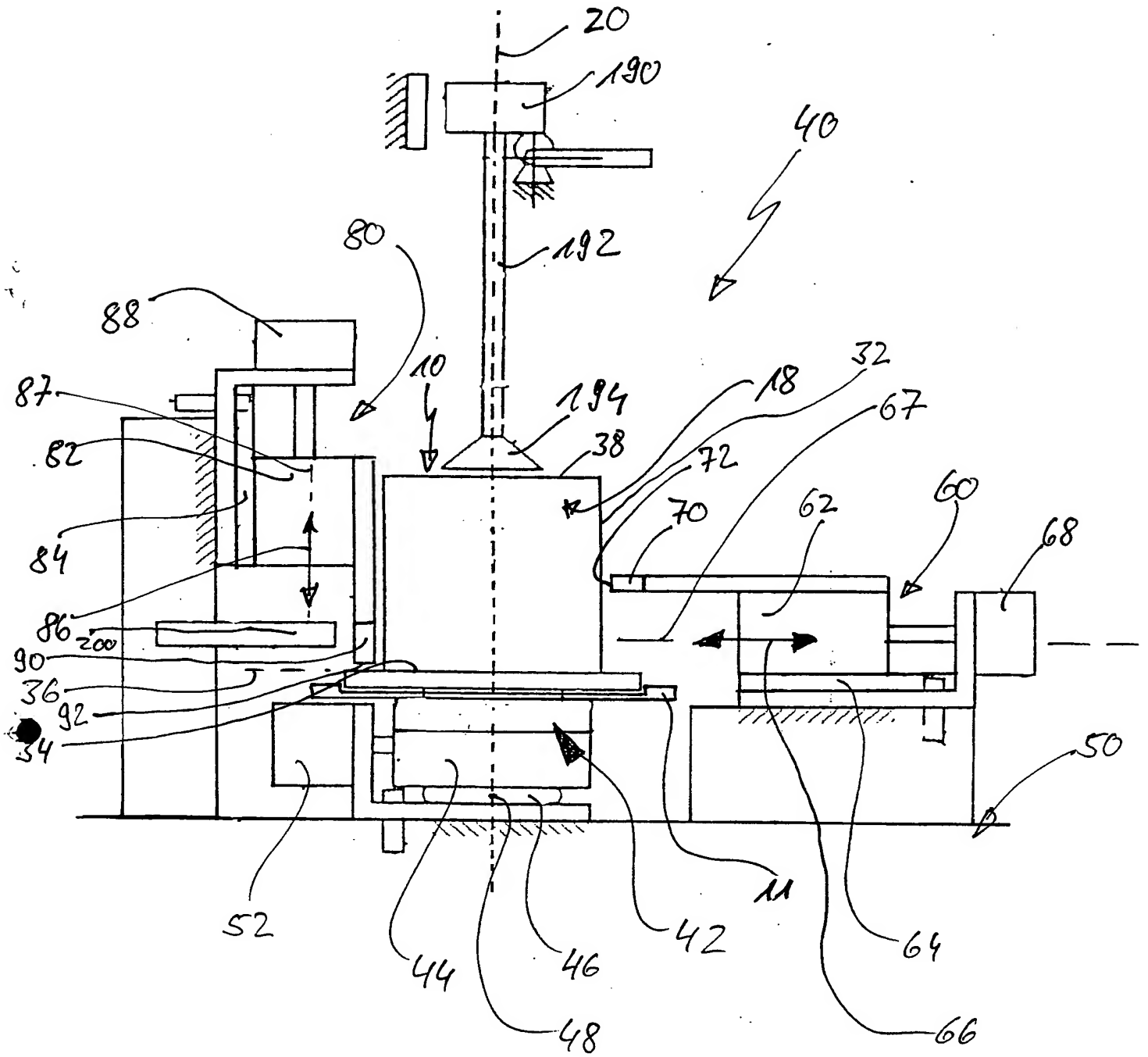


Fig 3

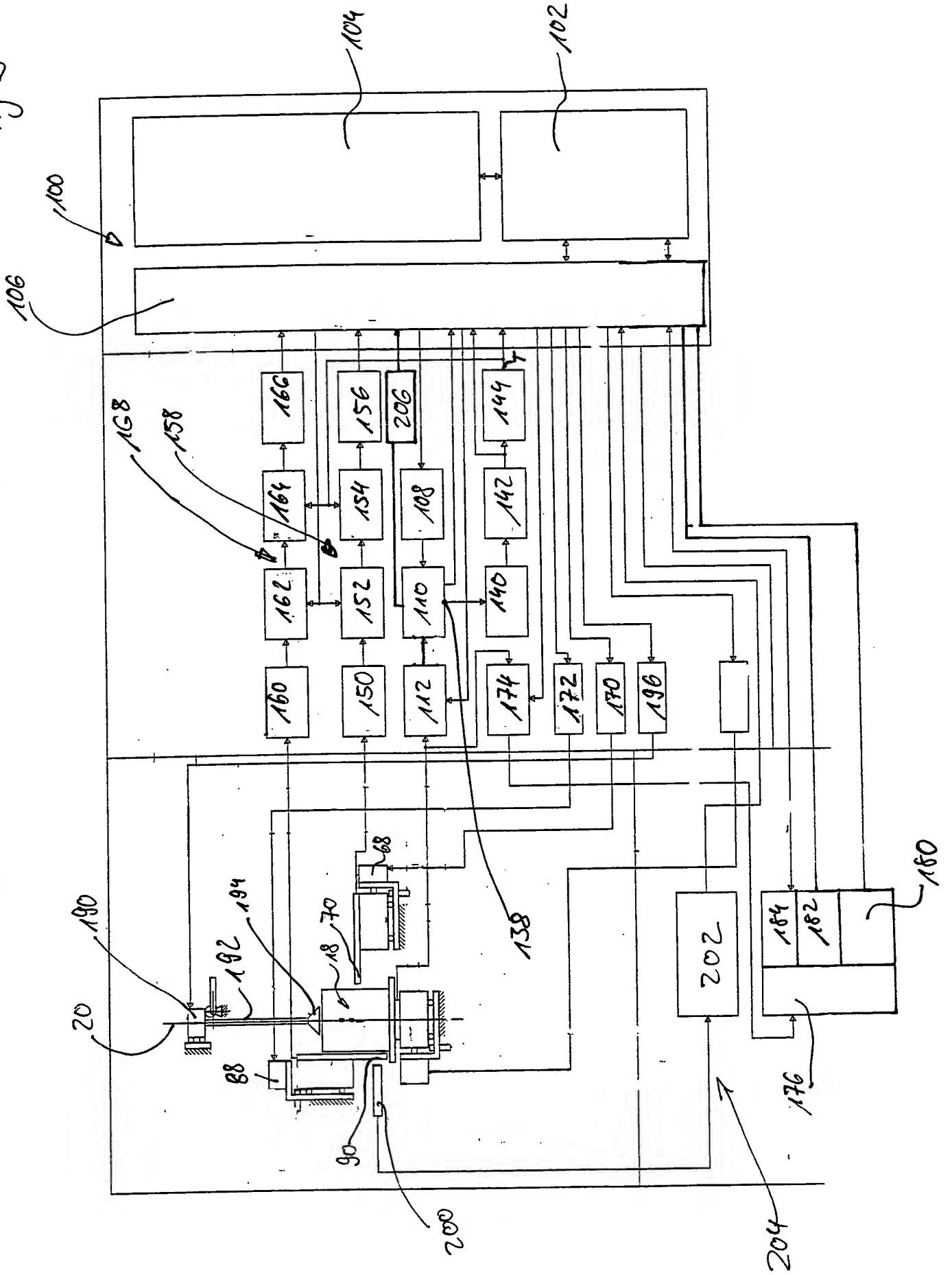


Fig 4

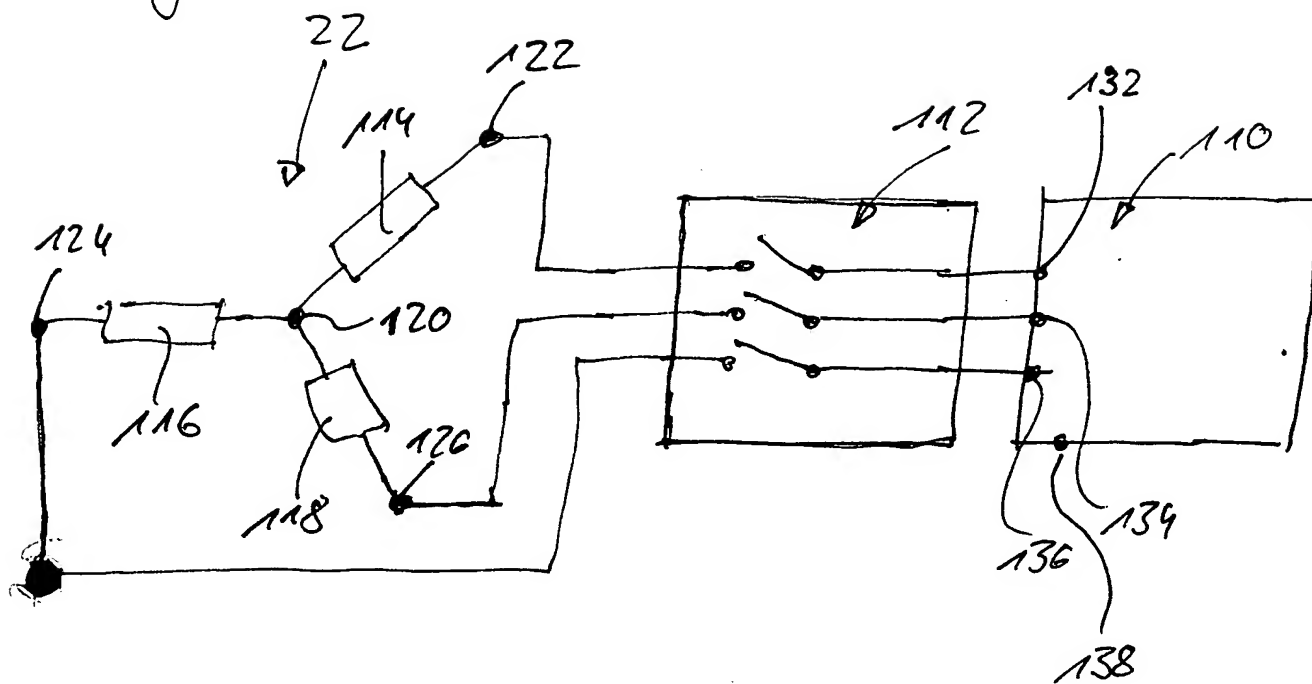


Fig 5

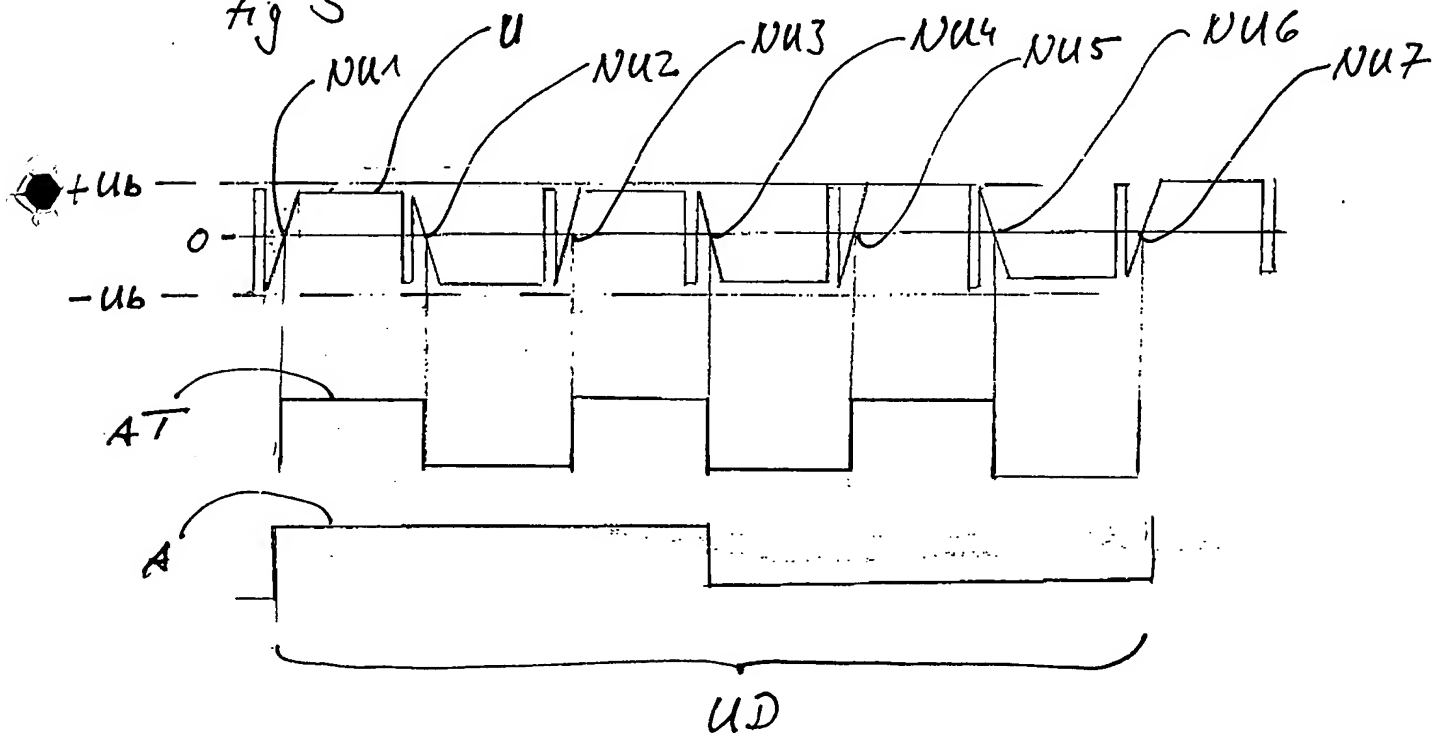




Fig 6

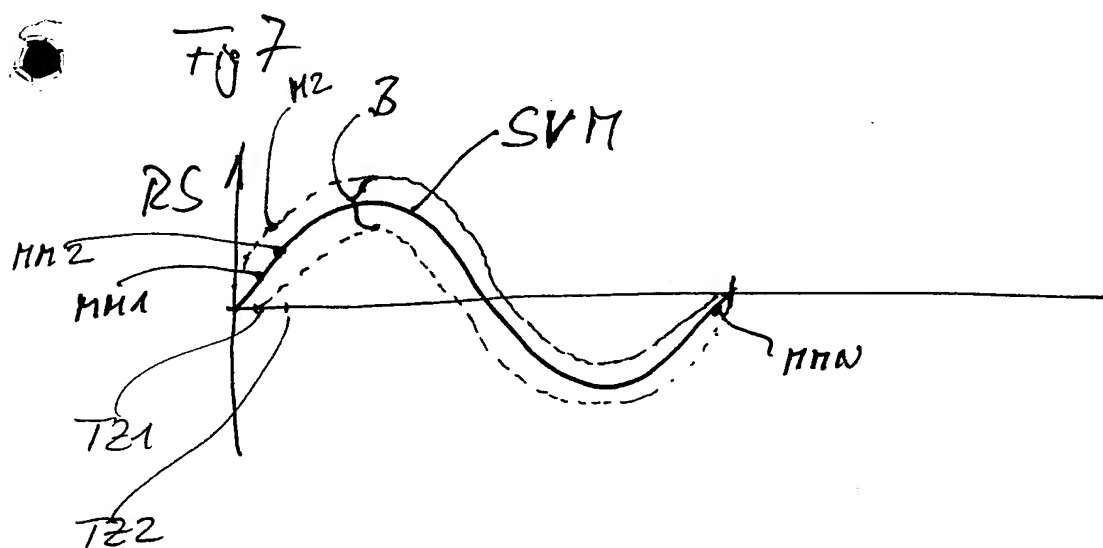
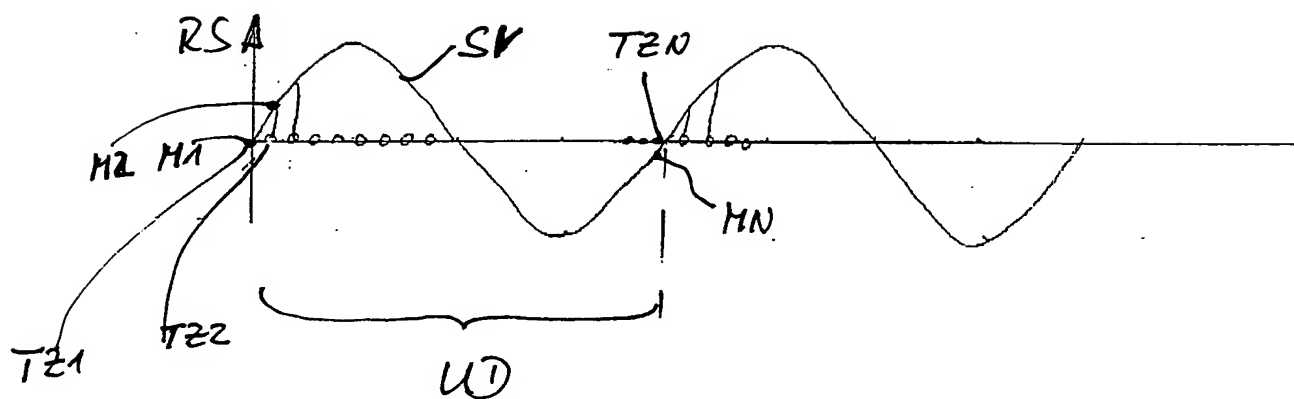


Fig 8

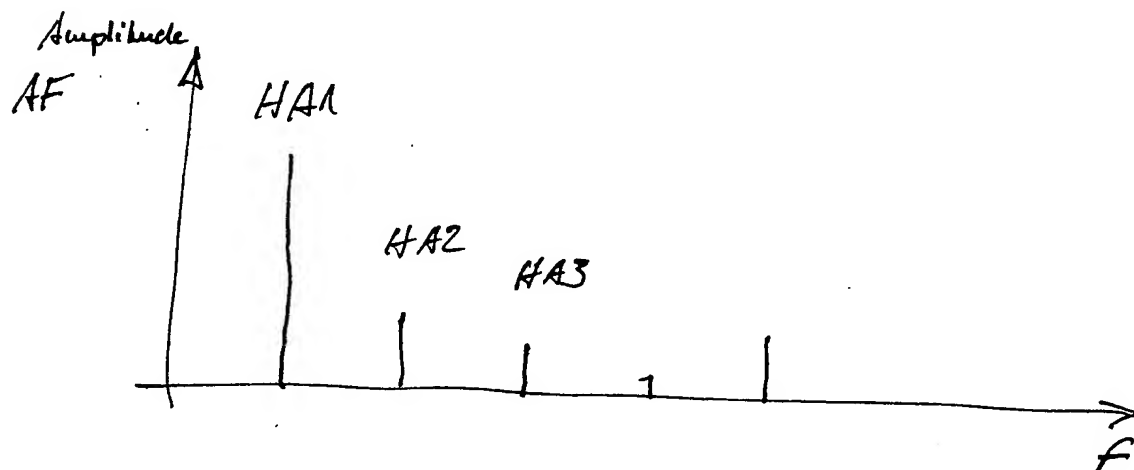


Fig 9

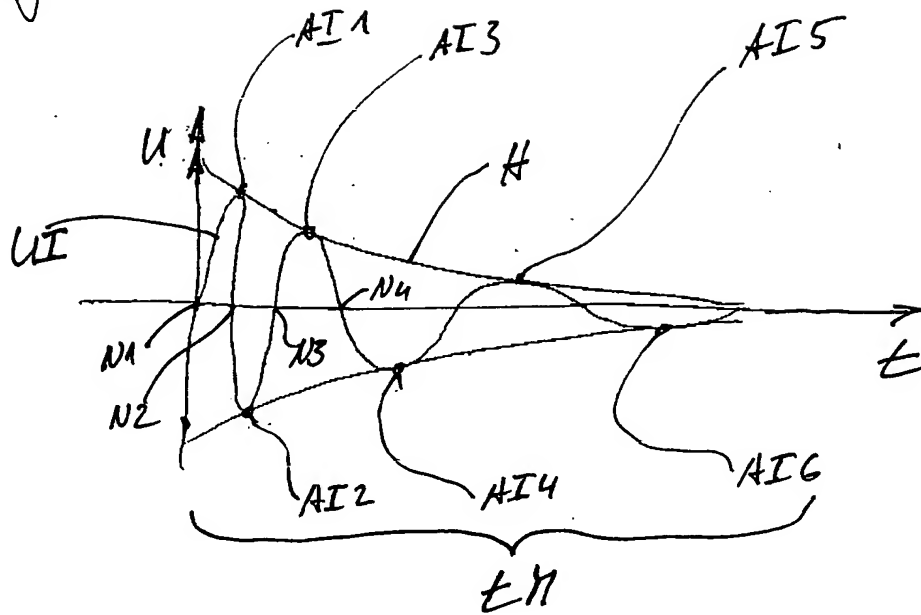


Fig 10

